

УДК 621.391.14:519

© М.А. Алексеев, Е.Л. Холод

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ ЗАГРУЗКИ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Предложен метод управления объемным заполнением барабанных мельниц с использованием значений показателя Херста акустического сигнала.

Запропоновано метод управління об'ємним заповненням барабаних млинів з використанням значень показника Херста акустичного сигналу.

Proposed a method for controlling volume filling rattler from the values of Hurst exponent of acoustic signal.

Введение. Измельчительные агрегаты широко применяют в различных отраслях промышленности: черной и цветной металлургии, химии, цементной, строительной, энергетике. Большое количество разновидностей систем автоматического управления процессом измельчения, известных в настоящее время, обусловлено как сложностью взаимосвязей между входными, промежуточными и выходными переменными процесса, так и разнообразием технологических схем и условий измельчения [1]. Контроль параметров барабанных мельниц по сигналам, сопутствующим их функционированию, позволяет оценить функциональное состояние объекта управления и предупредить развитие аварийной ситуации. Такими сигналами являются акустические и энергетические сигналы мельницы, по которым можно судить об эффективности и скорости измельчения материала.

Анализ существующих достижений и публикаций. Для управления уровнем внутримельничной загрузки часто используются методы, основанные на применении ортогональных преобразований, которые при соответствующем выборе базисной системы обеспечивают адекватность анализируемой информации при высокой степени декорреляции информативных компонент [2].

Операция нахождения дискретного спектра \mathbf{Y} цифровыми методами может быть представлена в виде матричного произведения

$$\mathbf{Y} = \frac{1}{N} \mathbf{H}_n \mathbf{X}, \quad (1)$$

где \mathbf{X} – вектор анализируемой реализации размерности N , \mathbf{H}_n – квадратная матрица спектрального оператора размерности $N \times N$.

Число строк матрицы спектрального оператора \mathbf{H}_n равно количеству базисных функций, участвующих в разложении, а элементы строки представляют собой дискретные значения одной из базисных функций в моменты дискретизации.

При решении задачи классификации случайных сигналов по спектральным признакам для случая многих классов используются системы собственных

функций соответствующих каждому классу. При этом информативными признаками считаются коэффициенты разложения Карунена-Лоэва [3]. Однако разложение Карунена-Лоэва в общем случае не обладает алгоритмом быстрого преобразования, что не позволяет использовать при решении задач оперативного контроля параметров и управления.

При решении задач контроля и управления с помощью традиционных ортогональных преобразований возникают определенные трудности при распознавании состояния некоторых объектов, определения причин, вызывающих отклонение параметров и появление неисправностей. Это обусловлено тем, что функционирование объектов разных типов сопровождается процессами различной физической природы. Использование для контроля параметров методов, не учитывающих особенности этих процессов, не позволяет формировать информативные признаки диагностических сигналов.

Основным недостатком Фурье-преобразования является его "глобальная" чувствительность к "локальным" скачкам и пикам функции [3]. При этом модификация коэффициентов Фурье (например, подавление высоких гармоник с целью фильтрации шума) вносит одинаковые изменения в поведение сигнала на всей области определения. Это особенность оказывается полезной для стационарных сигналов, свойства которых в целом мало меняются со временем. При исследовании нестационарных сигналов требуется использование некоторых локализованных во времени компактных волн, коэффициенты разложения по которым сохраняют информацию о дрейфе параметров аппроксимируемой функции. Попытки построения таких систем функций сводились к сегментированию сигнала на фрагменты ("окна") с применением разложения Фурье для этих фрагментов.

Однако оконные преобразования позволяют проанализировать либо высокие частоты в коротком окне времени, либо низкочастотную компоненту, но не оба колебания одновременно. В результате был предложен подход, в котором для различных диапазонов частот использовались временные окна различной длительности. Оконные функции получались в результате растяжения-сжатия и смещения по времени какой-либо одной базисной функции. Эти базисные функции называются вейвлетами.

Непрерывное вейвлет-преобразование определяется как:

$$W_{a,b} = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}(t) f(t) dt . \quad (2)$$

Это выражение представляет собой свертку сигнала $f(t)$ с функцией $\Psi_{a,b}$ переводящую сигнал из временной в вейвлет-область с базисными функциями:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (3)$$

где a и b представляют растяжения и сдвиги одной функции (материнской вейвлет). Параметр a называют параметром масштаба, а параметр b параметром сдвига. Вейвлет-преобразование не уникально в смысле возможности выбора

различных материнских вейвлетов. Однако материнский вейвлет должен обладать конечной энергией и ограниченной полосой частот.

Вейвлет-преобразования отличаются высокой степенью локализованности базисных функций как во временной, так и в частотной областях, что позволяет применять их для обработки широкого класса процессов, в том числе и нестационарных. Применение вейвлет-анализа для диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой рассмотрено в [4,5]. Однако определение объемного заполнения мельницы при плавном изменении уровня загрузки с помощью вейвлет преобразования не всегда обеспечивает необходимую точность.

Поэтому возникает необходимость создания методов контроля уровня внутримельничной загрузки барабанных мельниц, позволяющих получить более точное определение параметров объектов управления.

Формулировка цели и задачи исследований. Целью работы является разработка метода управления уровнем внутримельничной загрузки барабанных мельниц на основе использования, показателя Херста акустического сигнала, сопровождающего функционирование мельницы и обеспечивающего более эффективную диагностики перегрузки мельницы рудой по сравнению с известными методами.

Изложение основного материала исследований. Системы автоматического управления, стабилизирующие уровень внутримельничной загрузки измельченным материалом, занимают особое место при автоматизации процессов помола. Для управления по уровню внутримельничной загрузки используют системы автоматического управления, контролирующие оптимальное значение внутримельничного заполнения по акустическому (звукометрическому) сигналу, издаваемому мельницей. Этот метод измерения объемной загрузки мельницы основан на наличии корреляционной связи между параметрами загрузки мельницы технологическими компонентами (исходным сырьем, мелящими телами, водой, возвратным продуктом) и уровнем ее шумового поля (по вибрационному и акустическому компоненту).

При повышении частоты вращения барабана до так называемой критической наступает момент, когда центробежные силы уравниваются силами тяжести мелющих тел. В этом случае измельчение руды практически прекращается, шары не отрываются от внутренней поверхности барабана, а вращаются вместе с ней.

В зависимости от частоты вращения барабана в мельнице создаются различные режимы измельчения (рис. 1). Если частота вращения барабана составляет приблизительно $0,8n$ от критической, создается водопадный режим измельчения, когда основная масса шаров поднимается вместе с внутренней поверхностью вращающегося барабана на некоторую высоту, а затем свободно падает под действием сил тяжести по траекториям, близким к параболическим. Измельчение рудных зерен в данных условиях происходит преимущественно ударом. Водопадный режим характеризует режим работы мельниц первой стадии измельчения.

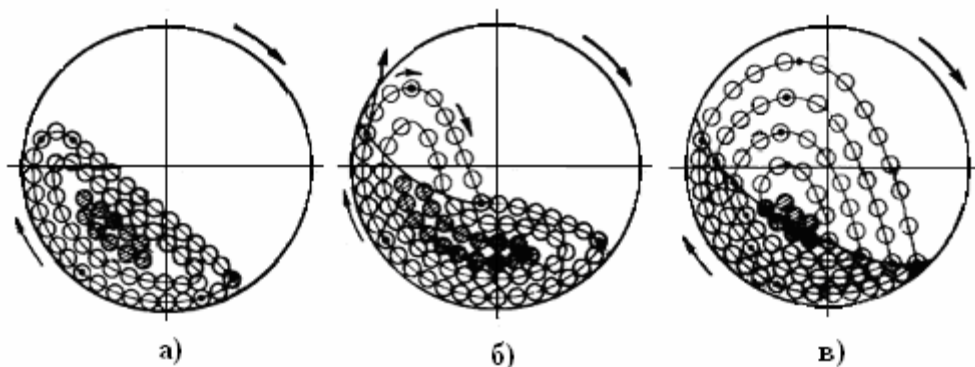


Рис.1. Схема движения мелющих тел в барабане мельнице
а – каскадный режим; б – смешанный режим; в – водопадный режим.

При скорости вращения барабана, составляющей $0,7n$ от критической, возникает смешанный режим измельчения, который характеризуется тем, что часть шаров участвует в свободном полете, а остальные перекатываются внутри барабана по замкнутым траекториям. Смешанный скоростной режим используется обычно при мокром измельчении руд в шаровых мельницах.

При каскадном режиме скорость вращения барабана составляет $0,5n$ от критической. При измельчении в каскадном режиме отсутствует свободный полет мелющих тел, которые циркулируют внутри барабана. Шары поднимаются по круговым траекториям на некоторую высоту, а затем скатываются под углом, близким к углу естественного откоса. При каскадном режиме руда измельчается путем истирания.

На рис. 2. представлена схема расположения датчика устройства контроля загрузки мельниц рудой по звукометрическому сигналу, издаваемому мельницей, где L – длина мельницы, G – вес рудно-шаровой загрузки мельницы, C – центр тяжести рудно-шаровой загрузки мельницы, θ – угол отклонения центра тяжести от вертикальной оси симметрии барабана мельницы, ΔH – перепад уровня пульпы в загрузке и разгрузке мельницы, δ – ширина зоны излучения звуковой энергии, D – акустический датчик, BK – ширина зоны излучения звука в месте установки датчика, M – расчетная излучающая область поверхности барабана мельницы, на которую настраивается акустический датчик. Площадь поверхности этой зоны S является величиной переменной вдоль длины мельницы L , так как заполнение мельницы рудой вдоль длины мельницы неравномерное и представлено кривой AC . Акустический датчик D должен быть настроен на область максимального излучения звуковой энергии M , которая находится внутри исходной зоны излучения $S_1 \approx l_1 \delta_1$.

Однако из-за колебаний свойств исходной руды часто происходит перегрузка мельниц рудой, в результате чего мельницы останавливают и разгружают. Возникает простой технологических линий обогащения и недовыпуск концентрата примерно на 10..15 % от общего объема производства.

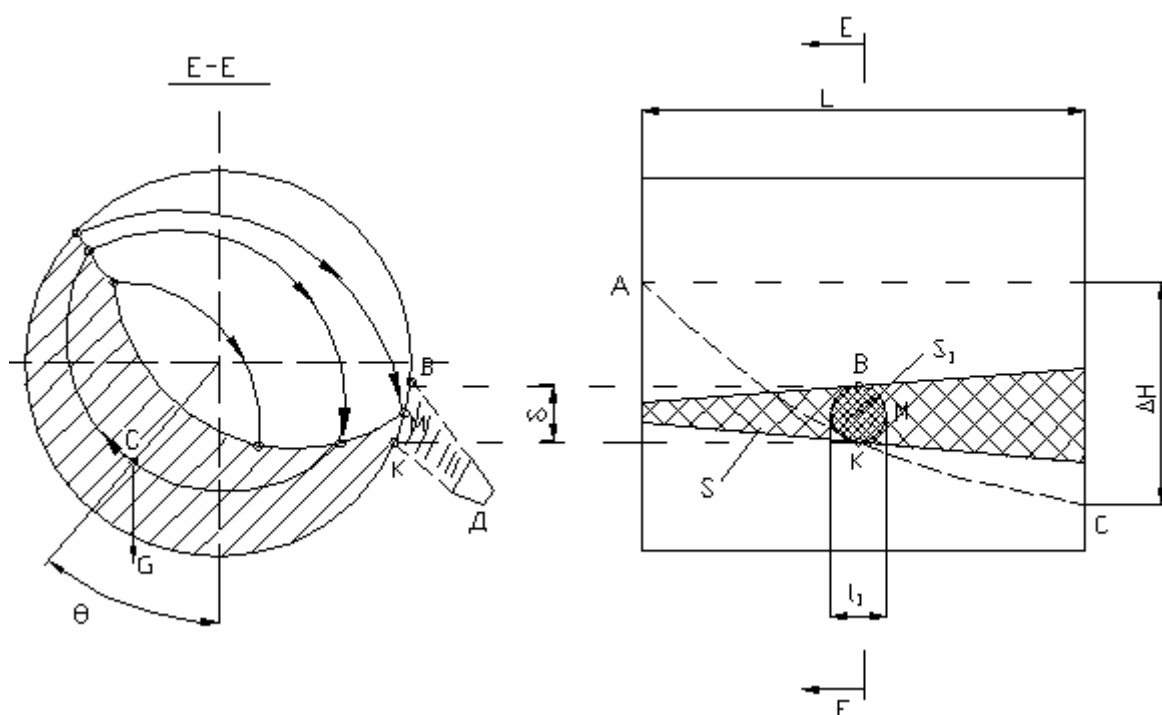


Рис. 2. Схема установки акустического датчика загрузки

Определение такого параметра как внутримельничная загрузка во многом сводится к классификации акустического сигнала мельницы. При этом сложность классификации заключается в том, что этот акустический сигнал является нестационарным. Использование традиционных методов, не позволяет с требуемой точностью классифицировать акустические сигналы, сопровождающие процесс измельчения. Поэтому целесообразно исследовать метод анализа акустического шума мельницы с использованием показателя Хёрста [6]. Процедура определения показателя Херста состоит из нескольких этапов. Вначале для случайного вектора $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$, представляющего временной ряд определяется среднее значение M

$$M = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k, \quad (4)$$

далее определяется дисперсия S^2

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - M)^2, \quad (5)$$

и интегральное отклонение D_j

$$D_j = \sum_{k=1}^N x_k - jM, \quad (6)$$

где N – размерность вектора \mathbf{X} , $j=1..N$.

Изменчивость случайного процесса R_N на интервале N определяется как неубывающая функция длины интервала

$$R_N = \max_{1 \leq j \leq N} D_j - \min_{1 \leq j \leq N} D_j. \quad (7)$$

Херстом было показано, что для большинства естественных процессов при больших значениях N выполняется соотношение

$$\frac{R}{S} \approx (aN)^H, \text{ или } \log \left(\frac{R}{S} \right) \approx H \log(aN) \quad (8)$$

где R/S – нормированный размах от накопленного среднего, N – число наблюдений, a – некоторая константа, H – показатель Херста.

На рис.3 представлены модели акустических сигналов для различных режимов внутримельничной загрузки мельницы.

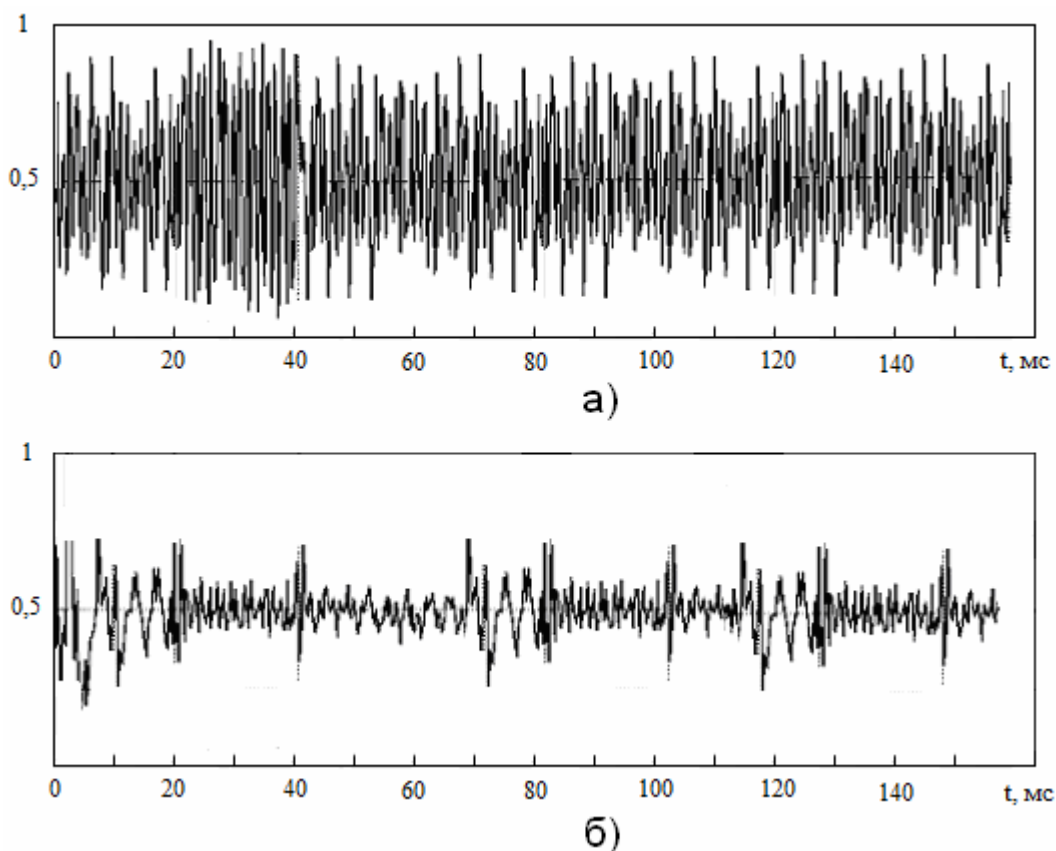


Рис.3. Моделирование акустического шума мельницы
а – нормальный режим; б – режим перегрузки.

Классификационные свойства показателя Херста определяются тем, что его значения изменяются для различных видов случайных процессов. Процессы, для которых $0 < H < 0.5$, называются антиперсистентными и для них характерна знакопеременная тенденция в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Процессы, для которых $0.5 < H < 1$, называются персистентными и для них характерно сохранение наблюдаемой тенденции в сочетании с относительно низким уровнем зашумленности. При $H=0.5$ имеют место процессы, в которых тренд отсутствует. Для сигнала на рис.3а показатель Херста $H=0.325$, для сигнала на рис.3б показатель Херста $H=0.682$.

Как видно из вышесказанного показатель Хёрста целесообразно использовать для классификации нестационарных сигналов с целью определения уровня внутримельничной загрузки барабанной мельницы.

Выводы.

1. Предложенный подход для контроля и управления уровнем загрузки барабанной мельницы с использованием показателя Хёрста акустического сигнала обеспечивает управление показателями измельчения. Это позволяет более продуктивно использовать установленное оборудование измельчения. Следствием уменьшения времени простоя мельницы является повышение ритмичности ее работы, более полное использование трудовых ресурсов, производственных фондов.

2. Продолжение исследований целесообразно проводить в направлении исследования эффективности различных методов вычисления показателя Хёрста с целью управления уровнем внутримельничной загрузки мельниц.

Список литературы

1. Воронов В.А. Многоуровневая оптимизация процессов обогащения / В.А. Воронов. – М.: Недра, 1991. – 154 с.
2. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1973. – №2. – С. 23–28.
3. Солодовников А.И. Основы теории и методы спектральной обработки информации [Текст]: учеб. пособие / А.И. Солодовников, А.М. Спиваковский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. – 272 с.
4. Алексеев М.А. Применение вейвлет-анализа при решении задач функционального контроля промышленных объектов / М.А. Алексеев, Х. Шамаллах // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №2. – С. 77–78.
5. Алексеев М.А. Метод звукометрической диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой. Збагачення корисних копалин / М.А. Алексеев, Х. Шамаллах // Наук.-техн.зб. – 2005. – Вып. 22 (63). – С. 166 – 168.
6. Федер Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер – М.: Мир, 1991. – 254 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 621.365.5

© Н.С. Дрешпак

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Предложена методика расчета контактной тепловой проводимости соединений деталей машин. Выполнен анализ характера протекания теплового процесса.

Запропонована методика розрахунку контактної теплової провідності з'єднань деталей машин. Виконано аналіз характеру протікання теплового процесу.

The method of thermal contact productivity of machine details connections calculating is proposed. The analysis of a thermal process character is made.